植保无人机飞防助剂与杀虫剂的混配方式对二化螟防治效果影响研究

资　乐[1,2,3,4]，臧　禹[1,2,3,4]，黄俊浩[1,2,3,4]，包瑞峰[1,2,3,4]，周志艳[1,2,3,4*]，肖汉祥[5*]

（1. 华南农业大学 工程学院/广东省农业航空应用工程技术研究中心，广东广州 510642；2. 广东省农业人工智能重点实验室，广东广州 510642；3. 国家精准农业航空施药技术国际联合研究中心，广东广州 510642；4. 华南农业大学南方农业机械与装备关键技术教育部重点实验室，广东广州 510642；5. 广东省农业科学院植物保护研究所/广东省植保新技术重点实验室，广东广州，510640）

摘　要：为探究飞防助剂类型与杀虫剂的混配方式对水稻二化螟防治效果的影响，本研究以杀虫剂（10%甲维·茚虫威SC、5%氯虫苯甲酰胺SC和0.8%鱼藤酮SC）、飞防助剂（有机硅助剂、矿物油助剂和卵磷脂助剂）、施药液量（21、24和27 L/hm²）为因素设计了3因素3水平的$L_9(3^4)$正交试验，通过方差分析（ANOVA）方法对各因素的显著性水平进行了分析。结果表明，在本研究的试验条件下，施药后第14天，杀虫剂对水稻二化螟防治效果有显著性影响（$P<0.05$），飞防助剂对水稻二化螟防效有极显著影响（$P<0.01$）；在设定的施药液量范围内（21～27 L/hm²），施药液量对水稻二化螟防效无显著性影响。混配方式7（0.8%鱼藤酮SC、有机硅助剂和27 L/hm²施药液量）具有较好的速效性与持效性，施药后第14天的防效达81.45%；混配方式4（5%氯虫苯甲酰胺SC、有机硅助剂和24 L/hm²施药液量）持效性显著，施药后第14天的防效为79.30%。本研究成果可为防治水稻二化螟的药液混配方式提供参考。

关键词：植保无人机；二化螟；飞防助剂；杀虫剂；防治效果

中图分类号：S252　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**202105-SA007

引用格式：资乐，臧禹，黄俊浩，包瑞峰，周志艳，肖汉祥．植保无人机飞防助剂与杀虫剂的混配方式对二化螟防治效果影响研究[J]. 智慧农业(中英文), 2021, 3 (3): 52-59.

ZI Le, ZANG Yu, HUANG Junhao, BAO Ruifeng, ZHOU Zhiyan, XIAO Hanxiang. Effects on control efficacy of pesticide-adjuvants mixture against rice *Chilo Suppressalis*(walker) based on plant protection unmanned aerial vehicle[J]. Smart Agriculture, 2021, 3 (3): 52-59. (in Chinese with English abstract)

1　引　言

二化螟（*Chilo Suppressalis*（walker）），别名钻心虫，是水稻生产中的主要害虫之一，在中国境内分布广泛[1,2]。其幼虫为害水稻形成枯鞘、枯心和白穗等症状[3]，造成水稻严重减产。随着

收稿日期：2021-04-29　修订日期：2021-06-18

基金项目：2020广东省乡村振兴战略专项（2020KJ261）；广东省科技计划项目（2021B1212040009）；广东省基础与应用基础研究基金（2020A1515110214）

作者简介：资　乐（1993—），男，硕士，研究方向为航空植保技术与应用。E-mail：891750786@qq.com。

*通讯作者：1：周志艳（1972—），男，教授，博士，研究方向为农业航空应用技术。电话：020-38676975。E-mail：zyzhou@scau.edu.cn；2：肖汉祥（1972—），男，研究员，硕士，研究方向为水稻害虫防控。电话：18998339282。E-mail：290432210@qq.com。

国内土地流转率的提升，农业规模化生产趋势明显[4]，具有作业效率高、成本低和安全性高的无人机航空施药方式发展迅猛[5]。无人机喷雾施药质量受多种因素影响，如施用药液的物理和化学性质[6]、飞防助剂[7]、施药技术[8]和气象条件[9]等。

添加飞防助剂可改变药液理化性质以增强药液雾滴在作物靶标上的铺展、渗透和沉积等性能[10]，降低飘移量[11]，从而提高无人机施药质量和农药的防治效果，近几年来发展迅速[12, 13]。Naue等[14]发现一种含有卵磷脂的新型有机硅助剂，可以较好地润湿蜡质类较难润湿的植物表面，提高药液延展性、渗透性和覆盖率；Gaskin等[15]探究了助剂对杀虫剂在作物叶片上持留量的影响，结果发现助剂可显著增加杀虫剂在疏水性作物上的持留量，最高可增加5倍以上，而对亲水性作物上的持留量无显著性影响；王斌等[16]分别测定了Silwet408、NF-100、倍达通、迈道和速捷5种助剂对作物叶片的润湿性能的影响，5种助剂均可显著降低药液的表面张力，增加药液在作物叶片上的最大持留量，显著增加了嘧菌酯原药对植物病害的防治效果；洪峰等[17]研究了4种助剂对10%四氯虫酰胺SC防治水稻二化螟的增效效果，结果表明有机硅油剂和有机硅水剂效果最显著；杨望明等[18]研究了安融乐助剂对25%甲维·茚虫威WG防治水稻二化螟的增效效果，结果表明添加安融乐助剂可提高防效10.13%；孙梅梅等[19]研究了飞防助剂对无人机防治水稻害虫的增效作用，结果表明添加怀农特高效植物油助剂对防治水稻二化螟无显著性影响。

目前的研究大多只针对某一杀虫剂进行多种飞防助剂的增效对比试验，而关于杀虫剂、飞防助剂和施药液量的混配方式差异对防治效果的影响需要进一步研究。本研究通过设计正交试验，利用统计学方法，研究杀虫剂种类、飞防助剂类型和施药液量水平三个因素对水稻二化螟防治效果的影响，旨在探索不同的药液混配方式对二化螟防效的影响，提高水稻二化螟的防治水平。

2 材料与方法

2.1 试验设备与材料

（1）施药机型。采用T16植保无人机（深圳市大疆创新科技有限公司）。其最大载药量为16 L，喷头（8个）型号为XR11001VS，工作流量最高可达3.6 L/min[20]。

（2）供试杀虫剂。10%甲维·茚虫威SC（Emamectin Benzoate·Indoxacard，EBI，东莞市瑞德丰生物科技有限公司），1%甲氨基阿维菌素苯甲酸盐，9%茚虫威，当地无人机施药植保队推荐用药；5%氯虫苯甲酰胺SC（Chlorantraniliprole，CHI，深圳诺普信农化股份有限公司）；0.8%鱼藤酮SC（Rotenone，ROT，广东新秀田化工有限公司），含0.5%氰戊菊酯，仅用于试验测试，不用于实际水稻生产。

（3）供试飞防助剂。有机硅类助剂（Organosilicon）——全丰（安阳全丰生物科技有限公司），具有超延展性，有助于药液雾滴在作物表面润湿铺展[21]；卵磷脂类助剂（Lecithin）——凌空飞度（尼勒思科生物工程（广州）有限责任公司），具有较好的生物相容性，有助于药剂在作物和害虫体内运输传导[22]；矿物油类助剂（Mineral Oil）——威持（法国道达尔流体公司），具有抗蒸发性，有助于延长药液雾滴与作物的接触时间[23]。

2.2 试验环境与方法

试验于广东省广州市增城区宁西镇华南农业大学教学科研基地进行。水稻品种为美香占2号，2020年6月24日播种，生长至分蘖后期供试，平均株高55 cm。试验地前茬作物为玉米，肥力均匀，排灌条件良好，试验地块周围无障碍物，适合无人机喷雾作业。

试验采用大疆T16植保无人机进行飞防喷施作业，作业喷幅为5 m，飞行速度为4.5 m/s，无人机距作物冠层高度为1.8 m。施药前查虫时间

为2020年8月20号8:00—11:30，施药时间为当日17:00—19:00与次日8:00—9:30，施药时气温为29±1 ℃，相对湿度为65%～70%，无持续风向，风速≤2 m/s，符合《植保无人飞机喷施农药田间药效试验准则》（征求意见稿）作业条件要求。害虫为水稻二化螟，部分区域的水稻枯心率超过10%。

选取杀虫剂、飞防助剂和施药液量为影响因素，试验因素及水平如表1所示。正交试验方案参照$L_9(3^4)$正交表，将空白因素作为误差因素，用于检验正交试验的合理性，如表2所示。试验共设置10个药液混配方式，分别对应10个小区，不设重复，每小区面积约为525 m²（15 m×35 m），如图1所示。处理1～9为杀虫剂（甲维·茚虫威SC、氯虫苯甲酰胺SC和鱼藤酮SC）、飞防助剂（有机硅、矿物油和卵磷脂）与施药液量（21、24和27 L/hm²）的正交试验设计方案，处理10为空白对照。

表1　二化螟防治试验因素和水平表

Table 1 The experimental factors and levels about controlling *Chilo Suppressalis*(walker)

水平	因素		
	杀虫剂	飞防助剂	施药液量/(L·hm^{-2})
1	EBI	Organosilicon	21
2	CHI	Mineral Oil	24
3	ROT	Lecithin	27

注：EBI为10%甲维·茚虫威SC，CHI为5%氯虫苯甲酰胺SC，ROT为0.8%鱼藤酮SC

表2　$L_9(3^4)$正交试验方案

Table 2 $L_9(3^4)$ Orthogonal experimental scheme

混配方式	杀虫剂	飞防助剂	施药液量/(L·hm^{-2})	误差
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

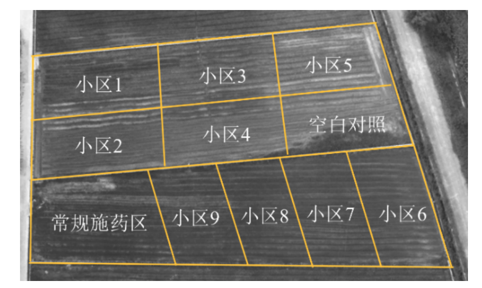


图1　二化螟防治试验田间分区示意图

Fig. 1 Sketch of the plots in the field about controlling *Chilo Suppressalis*(walker)

甲维·茚虫威和氯虫苯甲酰胺的施药剂量为675 mL/hm²，鱼藤酮的施药剂量为1350 mL/hm²，飞防助剂的添加剂量为1%溶液体积比，参考当地无人机施药植保队推荐用量。

2.3 防治效果调查与统计

施药前及施药后第6、第10和第14天各调查虫情一次，在每个小区中央按照线阵方式选取3行6列，共18个查虫点。每点调查5丛水稻，记录水稻总株数和枯心数，参考农药田间药效试验准则[24]与小区虫情的纵向对比，根据公式（1）～（3）计算各小区的防治效果。同时，观察水稻是否产生药害。

$$枯心率 = \frac{调查枯心数}{调查总株数} \times 100\% \qquad (1)$$

$$枯心增长率 = \frac{KX' - KX}{KX} \times 100\% \qquad (2)$$

$$防治效果 = \frac{CK - PT}{CK} \times 100\% \qquad (3)$$

其中，KX为施药前枯心率，%；KX'为施药后枯心率，%；PT为处理区枯心增长率，%；CK为空白对照区枯心增长率，%。

2.4 数据处理

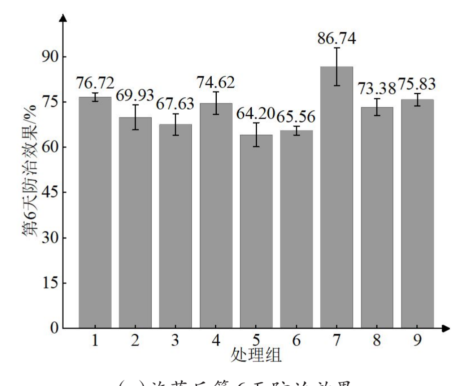
采用SPSS 23.0软件计算95%和99%置信限。应用Duncan's新复极差法和Duncan多重比较法分别进行试验数据的差异显著性检验和正交试验的水平优选[25]。P值、F值和均方是方差分析（ANOVA）里对模型及其系数进行显著性检验的主要统计指标。P值表示同一因素各水平有

显著差异时出现误差的概率，*P*值越小，表示该因素各水平间的差异越显著；*F*值越大，说明该因素的影响越显著；误差项的均方须小于各试验因素的均方，方能说明正交试验具有合理性[26, 27]。

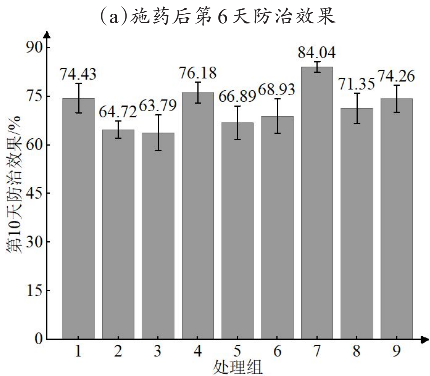
3 结果与分析

3.1 各混配方式对水稻二化螟的防治效果

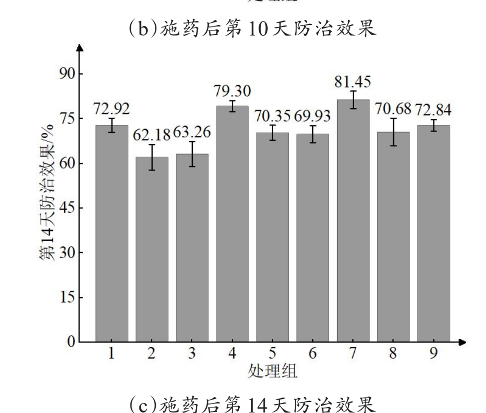
在施药后第6天、第10天和第14天分别调查各小区虫情，计算防治效果，结果如图2所示。施药后第6天，各小区的防效在64.20%～86.74%之间，不同药液混配方式对二化螟防治效果的差异较大；施药后第10天，施用甲维·茚虫威SC与鱼藤酮SC的小区平均防治效果分别下降了3.78%和2.10%，而施用氯虫苯甲酰胺SC的小区平均防治效果略有提升，提升幅度为2.54%；施药后第14天，施用甲维·茚虫威SC与鱼藤酮SC的小区平均防治效果仍有下降，下降幅度分别为1.53%和1.56%，而施用氯虫苯甲酰胺SC的小区平均防治效果仍有提升，提升幅度为2.52%。所有小区水稻正常生长，无药害现象。



(a)施药后第6天防治效果



(b)施药后第10天防治效果



(c)施药后第14天防治效果

图2 各混配方式对水稻二化螟的防治效果

Fig. 2 Control efficacy of the mixtures against rice *Chilo Suppressalis*(walker)

3.2 药液混配方式的因素显著性分析

为分析药液混配方式中的各个因素对二化螟防治效果的显著性，采用Duncan's新复极差法分别对杀虫剂、飞防助剂和施药液量因素与防治效果进行了单因素方差分析，结果如表3所示。

由表3可知，施药后第6天、第10天和第14天，误差项的均方均小于杀虫剂、飞防助剂和施药液量的均方，说明本正交试验的误差在正常范围内。在本研究的试验条件下，施药后第6天，

表3 Duncan´s新复极差法对试验因素与防治效果的方差分析结果

Table 3 The results of ANOVA about experimental factors and control efficacy by Duncan's new multiple range test

因素	施药后第6天防治效果				施药后第10天防治效果				施药后第14天防治效果			
	均方	*F*值	*P*值	显著性	均方	*F*值	*P*值	显著性	均方	*F*值	*P*值	显著性
杀虫剂	86.90	20.9	0.046	*	61.50	17.5	0.054	NS	65.97	80.0	0.012	*
飞防助剂	98.96	23.8	0.040	*	99.23	28.3	0.034	*	94.43	114.5	0.009	**
施药液量	1.89	0.5	0.687	NS	0.02	0.0	0.994	NS	0.20	0.2	0.809	NS
误差	1.58	/	/	/	0.01	/	/	/	0.13	/	/	/

注：$P<0.01$（**）代表极显著；$P<0.05$（*）代表显著；$P>0.05$（NS）代表不显著

因素“杀虫剂”（P<0.05）和“飞防助剂”（P<0.05）对二化螟防效有显著性影响，因素“施药液量”（P>0.05）对二化螟防效无显著性影响；施药后第10天，因素“杀虫剂”（P>0.05）和“施药液量”（P>0.05）对二化螟防效无显著性影响，因素“飞防助剂”（P<0.05）对二化螟防效有显著性影响；施药后第14天，因素“杀虫剂”（P<0.05）对二化螟防效有显著性影响，因素“飞防助剂”（P<0.01）对二化螟防效影响极显著，因素“施药液量”（P>0.05）对二化螟防效无显著性影响。

在本研究的试验条件下，施药后第6天、第10天和第14天，各因素F值从大到小的顺序均为：飞防助剂>杀虫剂>施药液量，说明因素对防治效果影响的主次顺序为：飞防助剂>杀虫剂>施药液量。

由此可知，杀虫剂和飞防助剂是防治效果的主要影响因素，在设定的施药液量范围内（21～27 L/hm²），施药液量是防治效果的次要影响因素，且各个水平的差异不显著。

3.3 防治二化螟的药液混配方式优选

为优选防治二化螟的药液混配方式，对杀虫剂、飞防助剂和施药液量3个因素与施药后第14天防治效果（药效较稳定）进行Duncan多重比较，其结果如表4所示。

表4 施药后第14天防治效果的Duncan多重比较表

Table 4 Duncan multiple comparison table of the factors for control efficacy 14 d after spraying

个案数	杀虫剂（水平）	子集	飞防助剂（水平）	子集	施药液量（水平）/(L·hm^{-2})	子集
3	EBI（1）	66.1 a	Mineral Oil（2）	67.7 a	21（1）	71.2 a
3	CHI（2）	73.2 b	Lecithin（3）	68.7 a	24（2）	71.4 a
3	ROT（3）	75.0 b	Organosilicon（1）	77.9 b	27（3）	71.7 a

注：同列不同小写字母表示处理间0.05水平差异显著，子集越大水平越好

结果表明，施药后第14天，因素“杀虫剂”的水平3防治效果较好，从优到劣顺序为：鱼藤酮SC>氯虫苯甲酰胺SC>甲维·茚虫威SC；因素“飞防助剂”的水平1防治效果较好，水平从优到劣顺序为：有机硅>卵磷脂>矿物油；因素“施药液量”的3个水平之间差异不显著，但水平3效果较好。因此，防治效果较好的药液混配方式为：0.8%鱼藤酮SC、有机硅助剂和27 L/hm²施药液量，其防治效果在施药后第14天达到了81.45%。同时，由图2（各混配方式对水稻二化螟的防治效果）可知，5%氯虫苯甲酰胺SC、有机硅助剂和24 L/hm²施药液量的药液混配方式防治效果与持效性较好，施药后第14天的防效为79.30%，为次优混配方式。

4 讨论与结论

本研究使用T16植保无人机对水稻进行喷施作业，通过正交试验研究了杀虫剂、飞防助剂和施药液量的不同混配方式对二化螟防效的影响。试验中发现，施用甲维·茚虫威和鱼藤酮的小区平均防治效果随时间的增长呈现降低趋势，施用氯虫苯甲酰胺的小区平均防治效果随时间的增长呈上升趋势。出现这一现象的原因可能是氯虫苯甲酰胺具有一定的内吸性[28, 29]，与触杀型的甲维·茚虫威和鱼藤酮相比，具有更长的持效时间。由试验结果可知，施药后第6天，甲维·茚虫威对二化螟的防效显著高于氯虫苯甲酰胺；施药后第10天，甲维·茚虫威与氯虫苯甲酰胺对二化螟的防效无显著差异；施药后第14天，氯虫苯甲酰胺对二化螟的防效显著高于甲维·茚虫威，这正是杀虫剂对防效的影响由显著变为不显著，再变为显著的原因。由此可知内吸型杀虫剂在持效时间上具有较大优势。而施用鱼藤酮的小区平均防治效果虽会随时间增长而降低，但在施药后第14天，其平均防治效果仍高于氯虫苯甲酰胺，具有较好的速效性与持效性。

对于本研究所选的三种飞防助剂，其对二化螟防治效果影响的水平优劣顺序为：有机硅>卵

磷脂>矿物油。出现这一顺序的原因可能是，有机硅助剂具有超延展性，可使药液表面张力低于叶面润湿临界压力，促使药液经气孔渗透进入作物表皮[21]，同时可大幅降低药液雾滴在标靶表面的接触角，使药液雾滴平铺在作物表面[30]，其优越的润湿铺展性能可显著提高药液雾滴在疏水性水稻植株上的沉积量[14]，故其水平最好；卵磷脂作为细胞膜的组成成分，生物相容性极佳，易穿透生物体表面，可促使药剂在水稻植株的不同组织之间传输，其具有包埋药剂在生物体内快速传递和分布，从而增强缓释的作用[22]，故卵磷脂助剂水平次之；矿物油助剂有助于延长药液的蒸发时间，提高药液在标靶上的渗透性[23]，但对杀虫剂在水稻植株上的沉积和保留效果不如上述两种助剂。

施药液量会直接影响药液浓度和雾滴密度，进而对病虫害的防治效果产生一定的影响[31,32]。试验中发现，施药液量水平对二化螟防效影响的优劣顺序为：27 L/hm^2>24 L/hm^2>21 L/hm^2，即在21～27 L/hm^{2}的施药液量范围内，有施药液量越大防治效果越好的趋势，但趋势并不明显。而加大施药液量会导致植保无人机作业效率降低，因此在进行药液混配时，施药液量的选择应综合考虑作业效率和防治效果。

参考文献：

[1] 姜卫华. 二化螟的抗药性及综合防治研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2011.
JIANG W. Study on insecticide resistance and integrated control of rice stem borer, *Chilo suppressalis*[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2011.

[2] 何月平. 二化螟抗药性监测及治理与高毒农药替代药剂筛选研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2008.
HE Y. Monitoring and management of insecticide resistance in *Chilo suppressalis*(walker) and screening of alternative insecticides for replacing highly toxic insecticedes[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2008.

[3] 张俊杰. 水稻二化螟赤眼蜂寄生效果评价及其滞育机制研究[D]. 长春: 东北师范大学, 2015.
ZHANG J. Evaluation of parasitism on *Chilo suppressalis* walker by trichogramma and studies on mechnnisams of diapause in them[D]. Changchun: Northeast Normal University, 2015.

[4] 罗锡文, 廖娟, 胡炼, 等. 提高农业机械化水平促进农业可持续发展[J]. 农业工程学报, 2016, 32(1): 1-11.
LUO X, LIAO J, HU L, et al. Improving agricultural mechanization level to promote agricultural sustainable development[J]. Transactions of the CSAE, 2016, 32(1): 1-11.

[5] 陈盛德. 植保无人机在水稻喷施中的雾滴沉积机理及作业参数研究[D]. 广州: 华南农业大学, 2018.
CHEN S. Research on droplet deposition mechanism and operating parameters of plant protection UAV for rice[D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2018.

[6] HILZ E, VERMEER A W P. Spray drift review: The extent to which a formulation can contribute to spray drift reduction[J]. Crop Protection, 2013, 44: 75-83.

[7] WANG X, HE X, SONG J, et al. Drift potential of UAV with adjuvants in aerial applications[J]. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 2018, 11(5): 54-58.

[8] FAI AL B S, PESSIN G, FILHO G, et al. Fine-tuning of UAV control rules for spraying pesticides on crop fields: An approach for dynamic environments[J]. International Journal on Artificial Intelligence Tools, 2016, 25(1): ID 1660003.

[9] 盛辉. 环境作业变量对植保无人机喷雾参数的及田间防效验证[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2019.
SHENG H. Effect of environmental operation variables on spray parameters of plant protection UAV and field validation[D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2019.

[10] APPAH S, JIA W, OU M, et al. Analysis of potential impaction and phytotoxicity of surfactant-plant surface interaction in pesticide application[J]. Crop Protection, 2020, 127: ID 104961.

[11] 陈吟, 齐浩亮, 张龙, 等. 大田环境中不同助剂和喷头对无人机喷洒雾滴分布和漂移的影响[J]. 华南农业大学学报, 2020, 41(6): 50-58.
CHEN Y, QI H, ZHANG L, et al. Effects of different adjuvants and nozzles on droplet distribution and drift when applied with UAV[J]. Journal of South China Agricultural University, 2020, 41(6): 50-58.

[12] 张宗俭, 张春华, 李小龙. 桶混助剂的研发应用与发展趋势[J]. 现代农药, 2021, 20(1): 19-25.
ZHANG Z, ZHANG C, LI X. Research, application and development trend of tank-mixing adjuvant in China[J]. Modern Agrochemicals, 2021, 20(1): 19-25.

[13] 张宏军, 武鹏, 吴进龙, 等. 农用飞防专用制剂的现状与发展[J]. 农药科学与管理, 2018, 39(5): 13-17.
ZHANG H, WU P, WU J, et al. The recent status and development of specific formulation for aviation plant protection[J]. Pesticide Science and Administration,

2018, 39(5): 13-17.

[14] NAUE J A, POLICELLO G A, BROWN W L. New organosilicon- and lecithin-based adjuvant: effect of lecithin HLB on adjuvant properties[M]. Pesticide Formulation and Delivery Systems: 37th Volume, Formulations with Ingredients on the EPA's List of Minimal Concern, West Conshohocken, PA: ASTM International, 2018: 43-62.

[15] GASKIN R E, MURRAY R J, KRISHNA H, et al. Effect of adjuvants on the retention of insecticide spray on cucumber and pea foliage[J]. New Zealand Plant Protection, 2000, 53: 354-359.

[16] 王斌, 司乃国, 郭静, 等. 不同助剂对嘧菌酯防治3种植物病害的增效作用[J]. 农药学学报, 2020, 22(2): 293-298.
WANG B, SI N, GUO J, et al. Synergistic effect of different adjuvants on azoxystrobin against three plant diseases[J]. Chinese Journal of Pesticide Science, 2020, 22(2): 293-298.

[17] 洪峰, 潘惠文, 赵云峰, 等. 四氯虫酰胺混用不同助剂防治二化螟效果试验[J]. 黑龙江农业科学, 2016(6): 58-60.
HONG F, PAN H, ZHAO Y, et al. Field efficacy of mixed application silyuchong amide and different additives on *Chilo suppressalis*[J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2016(6): 58-60.

[18] 杨望明, 田良元, 滕永梅, 等. 生物助剂安融乐对水稻二化螟减药控害增效作用试验[J]. 湖北植保, 2018(6): 24-25.
YANG W, TIAN L, TENG Y, et al. Experiment about the biological additive Anrongle on the control effect of *Chilo suppressalis* by reducing the insecticide and improving effect[J]. Hubei Plant Protection, 2018(6): 24-25.

[19] 孙梅梅, 谌江华, 任少鹏. 添加助剂对无人机喷雾技术防治水稻害虫的效果评价[J]. 湖南农业科学, 2019(9): 55-57.
SHUN M, SHEN J, RENG S. Evaluation of control effect of UAV spray on rice pests by adding adjuvant[J]. Hunan Agricultural Sciences, 2019(9): 55-57.

[20] 聂太礼, 程慧煌, 吴珍平, 等. 棉花应用大疆T16无人机飞防的操作技术要点[J]. 棉花科学, 2020, 213(6): 39-42.
NIE T, CHENG H, WU Z, et al. Operational technical pointsof cotton application dajiang T16 UAV flight defense[J]. Cotton Sciences, 2020, 213(6): 39-42.

[21] 王少丽, 朱国仁, 张友军. 农用有机硅喷雾助剂在害虫化学防治中的应用[J]. 长江蔬菜, 2010(18): 112-115.
WANG S, ZHU G, ZHANG Y. Application of organic silicon surfactant in chemical control of agricultural pest[J]. Journal of Changjiang Vegetables, 2010(18): 112-115.

[22] 徐鹏飞, 康廷浩, 张园, 等. 卵磷脂桶混助剂的特性及其在防治稻飞虱中对氟啶虫胺腈的协同增效作用[J]. 农药学学报. 2019, 21(2): 227-232.
XU P, KANG T, ZHANG Y, et al. Characterization of lecithin tank mixing adjuvant and synergistic effect with sulfoxaflor on the control of rice planthopper[J]. Chinese Journal of Pesticide Science. 2019, 21(2): 227-232.

[23] 王成菊, 张文吉, 李学锋, 等. 油类助剂在除草剂中应用及开发前景[J]. 精细化工, 2002(S1): 91-93, 105.
WANG C, ZHANG W, LI X, et al. Oil-based adjuvants for herbicides: Application and development trend[J]. Fine Chemicals, 2002(S1): 91-93, 105.

[24] 中华人民共和国农业部农药检定所. 农药田间药效试验准则(一)杀虫剂防治水稻鳞翅目钻蛀性害虫: GB/T 17980.1—2000[S]// 北京: 中国标准出版社, 2000.
Institute for the Control of Agrochemicals of the People's Republic of China. Pesticide—Guidelines for the field efficacy trials(I)—Insecticides against borer pests of Lepidoptera on rice: GB/T 17980.1—2000[S]// Beijing: Standards Press of China, 2000.

[25] 王颉. 试验设计与SPSS应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007: 172-178.
WANG J. Experiment design and the application of SPSS[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2007: 172-178.

[26] 郑启帅, 岑海燕, 方慧, 等. 植保无人机喷施液滴润湿性探究[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2018, 44(4): 407-413.
ZHENG Q, CEN H, FANG H, et al. Research on wettability of spraying droplet with unmanned aerial vehicle[J]. Journal of Zhejiang University (Agriculture and Life Sciences), 2018, 44(4): 407-413.

[27] 邹祎. SPSS软件单因素方差分析的应用[J]. 价值工程, 2016, 35(34): 219-222.
ZOU Y. The analysis of single-factor variance by SPSS[J]. Value Engineering, 2016, 35(34): 219-222.

[28] 吴玉娥, 李静, 郑坤明, 等. UPLC-HRMS法探究氯虫苯甲酰胺在水稻植株中的内吸传导特性[J]. 农药, 2017, 56(3): 176-179.
WU Y, LI J, ZHENG K, et al. The systemic properties of *chlorantraniliprole* in rice plant by UPLC-HRMS[J]. Agrochemicals, 2017, 56(3): 176-179.

[29] 谭海军. 新型邻甲酰氨基苯甲酰胺类杀虫剂四氯虫酰胺[J]. 世界农药, 2019, 41(5): 60-64.
TAN H. New anthranilic diamide insecticide *tetrachlorantraniliprole*[J]. World Pesticide, 2019, 41(5): 60-64.

[30] GUO L. Synthesis and properties of a glucono- δ -lactone- modified silicone surfactant from high-amine-

value amodimethicone[J]. Phosphorus, Sulfur, and Silicon and the Related Elements, 2019.

[31] 袁会珠, 陈万权, 杨代斌, 等. 药液浓度、雾滴密度与氧乐果防治麦蚜的关系研究[J]. 农药学学报 . 2000(1): 58-62.
YUAN H, CHEN W, YANG D, et al. Relationship between the efficacy of wheat aphids control and the omethoate concentration, droplets density[J]. Chinese Journal of Pesticide Science, 2000(1): 58-62.

[32] NAHIYOON S A, CUI L, YANG D, et al. Biocidal radiuses of cycloxaprid, imidacloprid and lambda-cyhalothrin droplets controlling against cotton aphid (*Aphis gossypii*) using an unmanned aerial vehicle[J]. Pest Management Science, 2020, 76(9): 3020-3029.

Effects on Control Efficacy of Pesticide-Adjuvants Mixture against Rice *Chilo Suppressalis*(walker) Based on Plant Protection Unmanned Aerial Vehicle

ZI Le[1,2,3,4], ZANG Yu[1,2,3,4], HUANG Junhao[1,2,3,4], BAO Ruifeng[1,2,3,4], ZHOU Zhiyan[1,2,3,4*], XIAO Hanxiang[5*]

(1. *College of Engineering*, *South China Agricultural University/Guangdong Engineering Research Center for Agricultural Aviation Application*, *Guangzhou* 510642, *China*; 2. *Guangdong Provincial Key Laboratory for Agricultural Artificial Intelligence*, *Guangzhou* 510642, *China*; 3. *National Center for International Collaboration Research on Precision Agricultural Aviation Pesticides Spraying Technology*, *Guangzhou* 510642, *China*; 4. *Key Laboratory of Key Technology on Agricultural Machine and Equipment* (*South China Agricultural University*), *Ministry of Education, Guangzhou, Guangdong Province*, *P. R. China* , *Guangzhou* 510642, *China*; 5. *Institute*, *Guangdong Academy of Agricultural Sciences/Guangdong Provincial Key Laboratory of High Technology for Plant Protection*, *Guangzhou* 510640, *China*)

Abstract: To explore the effect of pesticide-adjuvants mixture on the control efficacy against Rice *Chilo Suppressalis*(walker). This study designed a three-factor, three-level orthogonal experiments with pesticides (10% emamectin benzoate·indoxacard SC, 5% chlorantraniliprole SC and 0.8% rotenone SC), adjuvants(organosilicon, lecithin and mineral Oil) , spray volume (21, 24 and 27 L/hm^2), referred to the three-factor, three-level orthogonal experimental scheme. And made the blank factor the deviation to analyze its rationality. Analysis of variance (ANOVA) statistical method was used to analyze the significance level of each factor. Duncan's new multiple range test (DMRT) method was used to analyze the order of the influence of different levels of each factor on the control efficacy against Rice *Chilo Suppressalis*(walker). The results showed that, under the experiment conditions of this research, the mean square value of the deviation factor was smaller than the mean square value of the pesticides, the adjuvants and the spray volume, and the deviation of the orthogonal experiment was within a reasonable range. The main order of the effect of the three factors on the control efficacy of Rice *Chilo Suppressalis*(walker) was: adjuvants > pesticides > spray volumn. On the 14th day after spraying, pesticides showed a significant effect on the control efficacy ($P<0.05$) and adjuvants showed a highly significant effect on the control efficacy ($P<0.01$), and spray volume showed no significant effect on the control efficacy. On the 14th day after spraying, the level 3 of the factor "pesticides" was more effective, in the order of Rotenone > Chlorantraniliprole > Emamectin Benzoate·Indoxacard. The level 1 of the factor "adjuvants" was more effective, in the order of Organosilicon > Lecithin > Mineral Oil. The level 3 of the factor "spray volume" was more effective, in the order of 27 L/hm^2 > 24 L/hm^2 > 21 L/hm^2. Therefore, a preferred pesticide-adjuvants mixture method was 0.8% rotenone SC, organosilicon adjuvants and 27 L/hm^2 of spray volume, which had a rapid and long-lasting control efficacy, and its control efficacy in the field reached 81.45% on the 14th day after spraying. Additionally, there was also a satisfactory pesticide-adjuvants mixture method that was 5% Chlorantraniliprole, organosilicon adjuvants and 24 L/hm^2 of spray volume. This mixture method also performed well, achieving 79.3% control efficacy in the field on the 14th day after spraying. This study could provide a reference for the optimization of the mixture methods of solutions (pesticides, adjuvants and spray volume) for controlling Rice *Chilo Suppressalis*(walker).

Key words: plant protection UAV; Rice *Chilo Suppressalis* (walker); adjuvants; pesticide; control efficacy